

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 10082919 A

(43) Date of publication of application: 31.03.98

(51) Int. Cl  
**G02B 6/10**  
**G02B 5/18**  
**G02B 6/00**  
**G02B 6/16**

(21) Application number: 09189865

(71) Applicant: SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(22) Date of filing: 15.07.97

(72) Inventor: IWASHIMA TORU

(30) Priority: 15.07.96 JP 08185152

MOBARA MASAICHI

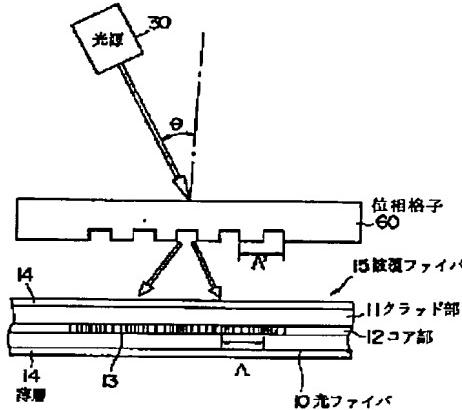
(54) FORMATION OF FIBER GRATING AND OPTICAL FIBER

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for forming a fiber grating in the state of maintaining the strength intrinsically possessed by optical fiber and an optical fiber having the fiber grating.

SOLUTION: This method has a first stage for forming a coated fiber 15 by providing the outer periphery of the optical fiber 10 having a photosensitive core 12 or the photosensitive core 12 and a clad 11 with a thin layer 14 allowing the transmission of the light of a prescribed wavelength to which the core 12 or the core 12 and the clad 11 are sensitive and a second stage for forming refractive index fringes 13 in the axial direction of the core 12 or the core 12 and the clad 11 by irradiating the prescribed region of the coated fiber 15 with light of the prescribed wavelength from the lateral side.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-82919

(43)公開日 平成10年(1998)3月31日

(51)Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
G 02 B 6/10			G 02 B 6/10	C
5/18			5/18	
6/00	3 0 6		6/00	3 0 6
6/16			6/16	

審査請求 未請求 請求項の数8 O.L (全9頁)

(21)出願番号 特願平9-189865

(22)出願日 平成9年(1997)7月15日

(31)優先権主張番号 特願平8-185152

(32)優先日 平8(1996)7月15日

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72)発明者 岩島 橘

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(72)発明者 茂原 政一

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

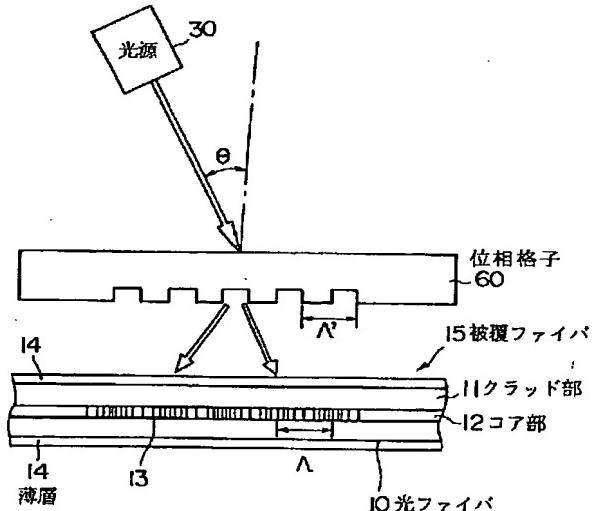
(74)代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

(54)【発明の名称】 ファイバグレーティングの作成方法及び光ファイバ

(57)【要約】

【課題】 光ファイバが本来有する強度を保持した状態でファイバグレーティングを作成する方法及びこのファイバグレーティングを備えた光ファイバを提供するものである。

【解決手段】 感光性のコア12あるいは感光性のコア12とクラッド11を有する光ファイバ10の外周に、コア12あるいはコア12とクラッド11が感光する所定波長の光を透過する薄層14を設けて被覆ファイバ15を形成する第1工程と、被覆ファイバ15の所定領域に側方から所定波長の光を照射して、コア12あるいはコア12とクラッド11の軸方向に屈折率竪13を形成する第2工程とを有する方法である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 感光性のコアあるいは感光性のコアとクラッドを有する光ファイバの外周に、前記コアあるいは前記コアとクラッドが感光する所定波長の光を透過する被覆を前記光ファイバに形成する第1工程と、前記被覆ファイバの所定領域に側方から前記所定波長の光を照射して、前記コアあるいは前記コアとクラッドの所定領域に屈折率を変化させる第2工程と、を備えることを特徴とするファイバグレーティングの作成方法。

【請求項2】 前記第1工程は、光ファイバの外周に紫外線硬化樹脂、シリコン樹脂あるいはカーボンのいずれかの被覆を設ける工程であることを特徴とする請求項1に記載のファイバグレーティングの作成方法。

【請求項3】 前記シリコン樹脂の被覆厚は5～10μmであることを特徴とする請求項2に記載のファイバグレーティングの作成方法。

【請求項4】 前記第1工程で光ファイバに被覆を形成した後、前記第2工程で被覆された光ファイバにグレーティングを施すに先立ち、当該被覆ファイバに水素を添加することを特徴とする請求項1に記載のファイバグレーティングの作成方法。

【請求項5】 前記第2工程でグレーティングを施した後、前記被覆ファイバの上に補強層を施すことを特徴とする請求項1に記載のファイバグレーティングの作成方法。

【請求項6】 前記第2工程は、位相格子法、ホログラフィック法あるいは強度変調マスク法のいずれかの方法によって前記屈折率の縞を形成する工程であることを特徴とする請求項1に記載のファイバグレーティングの作成方法。

【請求項7】 前記第2工程は、波長が190～330nmの紫外光、波長が450～550nmの可視光あるいは波長が0.12～0.7nmのX線のいずれかの光を照射して屈折率を変化させる工程であることを特徴とする請求項1又は6に記載のファイバグレーティングの作成方法。

【請求項8】 感光性のコアあるいは感光性のコアとクラッドを有する光ファイバを線引し、その直後に前記コアあるいは前記コアとクラッドが感光する所定波長の光を透過する薄層が被覆されると共に、水素が添加され、その後、前記所定波長の光を照射することにより前記コアあるいは前記コアとクラッドの軸方向に屈折率の縞を形成したことを特徴とする光ファイバ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光ファイバのコア部の屈折率を光軸に沿って周期的に変化させてファイバグレーティングを作成する方法及びこのファイバグレーティングを有する光ファイバに関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 近年、光ファイバ通信技術の進展とともにネットワークの複雑化や信号波長の多重化などが進行し、システム構成は高度化しつつある。このような光通信システムでは、光回路素子の重要性が増大している。光回路素子における一般的構成の一つとしてのファイバ型素子は、小型で挿入損失が小さいことや、光ファイバとの接続が容易であること等の利点を有している。そして、このようなファイバ型素子として、ファイバ型フィルターが知られている。

10 【0003】 最近では、コア部に酸化ゲルマニウムをドープした石英系光ファイバについて、紫外光照射によってコア部の屈折率が変化するという知見が周知であり、このような光誘起屈折率変化を利用したファイバ型フィルターとして、光ファイバ型回折格子が研究開発されている。この光ファイバ型回折格子は、光ファイバ内を進行する光のうち特定波長の光部分を反射するものであり、一般に、紫外光の照射によって光ファイバのコア部に屈折率が光軸に沿って周期的に変化した領域を形成する（グレーティング）ことにより製造されている。

## 20 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 紫外光照射による屈折率変化は、コア部のガラス中に存在するゲルマニウム関連のガラス欠陥に起因することが知られている。しかし、従来のような酸化ゲルマニウムをコア部にドープしただけのガラス光ファイバではガラス欠陥の数が少ないため、紫外光を照射しても屈折率変化量 $\Delta n$ が小さく、したがって、反射率も小さい。反射率を高くするためには、上記の式が示すようにグレーティング長を大きくする方法もあるが、紫外光レーザビームを照射するにあたって、レーザビームに高い均一性が要求され、そのため紫外光照射を行う光学系が複雑になる。

30 【0005】 そこで、反射率を高くするため、紫外光の照射光量に対する屈折率の変加量を増大させるべく、水素を光ファイバに添加する方法が知られている。光ファイバへの水素の添加は、高圧の水素加圧処理によって行われるが、屈折率変化を大きくするためには、添加水素濃度が高いことが望ましい。このため、高濃度の水素を添加する方法としては、一般に水素を高圧に加圧した容器内に光ファイバを一定期間放置して行う。しかるに従来は、通常グレーティングの作製においては被覆を除去し、ガラスを露出させた状態で照射する方法が採られていた。被覆を除去するために、光ファイバの表面が直接空気と接触し、ガラスの表面が酸化劣化を起こしたる、製造中に光ファイバの表面に傷を付けて、急激に引張り強度の低下をきたすといった問題があった。また、グレーティング作製後に、光ファイバに再被覆を施すといった問題があった。

40 【0006】 そこで本発明の目的は、光ファイバが本来有する強度を保持した状態でファイバグレーティングを作成する方法を提供するものである。本発明の目的は、

さらに、反射率の優れたファイバグレーティングを形成しながら引張強度の大きい光ファイバを提供するものである。

### 【0007】

【課題を解決するための手段】本発明に係わるファイバグレーティングの作成方法は、感光性のコアあるいは感光性のコアとクラッドを有する光ファイバの外周に、コアあるいはコアとクラッドが感光する所定波長の光を透過する被覆を光ファイバ上に形成する第1工程と、被覆ファイバの所定領域に側方から所定波長の光を照射して、コアあるいはコアとクラッドの所定領域に屈折率を変化させる第2工程とを備えることを特徴とする。

【0008】この発明によれば、第1工程において光ファイバの外周に被覆を形成した後、第2工程において被覆が施された状態の被覆ファイバにグレーティングを形成するので、光ファイバの表面は直接空気と触れることがないので酸化されることがなく、又製造中に光ファイバの表面に傷が付けられることがないので光ファイバ本来の強度が保持される。

【0009】本発明の第1工程において、光ファイバの上に設けられる被覆がシリコン樹脂、エポキシ樹脂等の有機樹脂の場合は、グレーティングするための紫外光の透過損失が少ないので、効率がよくなる。その中、シリコン樹脂は通常の被覆ファイバに適用されている材料なので入手しやすく、低コストとなる。また、シリコン樹脂の厚さを5～10μm程度では、紫外光は殆ど損失を受けないでグレーティングを形成することができる。

【0010】本発明の作成方法において、第1工程で光ファイバに被覆を形成した後、第2工程で被覆された光ファイバにグレーティングを施すに先立ち、被覆ファイバに水素を添加することを特徴とする。グレーティングを施す前に水素を添加処理することによって、迅速、かつ、効果的にグレーティングを形成することができるのを望ましい。

【0011】本発明の作成方法において、第2工程でグレーティングを施した後、被覆ファイバの上に紫外線硬化型樹脂あるいはナイロン等の補強層を施すと、光ファイバの強度が確保されるので望ましい。

【0012】本発明における第2工程は、位相格子法、ホログラフィック法あるいは強度変調マスク法のいずれかの方法によって屈折率縞を形成する工程であることを特徴とし、また、波長が190～330nmの紫外光、波長が450～550nmの可視光あるいは波長が0.12～0.7nmのX線のいずれかの光を照射して屈折率を変化させる工程であることを特徴とする。

【0013】本発明によれば、被覆ファイバの上から光を照射してファイバグレーティングを形成するための波長帯域は、紫外光、可視光あるいはX線のいずれも可能であるが、照射光が被覆層を透過する透過性の観点からは、紫外光より可視光、可視光よりX線が優れており、

効率よくグレーティングを形成することができる。

【0014】本発明における第1工程は、光ファイバの外周に紫外線硬化樹脂、シリコン樹脂あるいはカーボンのいずれかの薄層を設ける工程であることを特徴とする。これらの被覆材料は、光ファイバの機械的強度ならびに伝送特性を保持するのに適していると共に、グレーティングを形成するための照射光に対する減衰が小さいので好適である。

【0015】本発明の光ファイバは、感光性のコアあるいは感光性のコアとクラッドを有する光ファイバを線引し、その直後にコアあるいはコアとクラッドが感光する所定波長の光を透過する薄層が被覆されると共に、水素が添加され、その後、所定波長の光を照射することによりコアあるいはコアとクラッドの軸方向に屈折率の縞を形成したことを特徴とする。

【0016】本発明に係わる光ファイバによれば、被覆された薄層を介して水素が添加されると共に、被覆ファイバの上から光を照射してグレーティングが形成されるので、ガラス状態の光ファイバが酸化劣化し、あるいは表面傷が発生するのを防止することができる。さらに、本発明の光ファイバは線引直後に被覆されるのでガラス本来の強度を保持しており、高強度の光ファイバを得ることができる。

### 【0017】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照しながら本発明のファイバグレーティングの作成方法に係わる実施形態について詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0018】ファイバグレーティングを有する光ファイバは、光ファイバの軸にそってコア内に細かなピッチの周期的屈折率分布をもたせたものである。さらに、このファイバグレーティングは、(1) ファイバープラッタグレーティングと(2) 長周期グレーティングとに分けられる。ファイバープラッタグレーティングは、屈折率分布の光学的周期が半波長の垂直グレーティングとして書き込まれると、ファイバーコアにはグレーティングの各部で部分反射されるので全体的には多数の後進波が発生し、その位相が揃っているので強めあいの干渉を起こす。この結果、鋭い波長選択性をもつ反射光が発生するものである。

【0019】一方、長周期グレーティングは、ファイバグレーティングを有する光ファイバを伝送するコアモードとクラッドモード間の結合を誘起するとともに、グレーティングの周期がコアモードとクラッドモードとの光路差で $2\pi$ にすると、コアモードからクラッドモードへの強いパワー変換が生じる。その結果、クラッドモードは急速に減衰するので、ファイバー透過光はスペクトルの窪みがあらわれるというものである。

【0020】(実施形態1) 最初に、ファイバープラッ

ググレーティングの作成方法について説明する。図1は、被覆ファイバに水素を圧入するための装置を示す図である。図1において、圧力容器20内には石英ガラスからなる光ファイバ10の周りを薄層14で覆われた被覆ファイバ15(図2参照)を設置し、バルブ21側から水素(H<sub>2</sub>)ガスを送り込み、ヒータなどの温度調節器23で圧力容器20の温度を設定する。

【0021】被覆ファイバ15は、コア部に酸化ゲルマニウム(GeO<sub>2</sub>)を含む通常の石英系光ファイバであり、薄層14としてはシリコン樹脂、エポキシ樹脂等の有機材料が用いられる。これらの有機材料は熱線を吸収して硬化するが、グレーティングのために使用される紫外光には直接的に影響を及ぼさないので、グレーティングの効率がよい。その中、シリコン樹脂は通常の被覆ファイバに適用されている材料なので入手しやすく、低コストとなる。また、シリコン樹脂の厚さを5~10μmの程度にすると、紫外光は殆ど損失を受けないでグレーティングすることができる。

【0022】本実施形態において薄層14に有機材料を用いるので、グレーティングの効率を向上させるための水素添加処理は常温~100℃の範囲で行われる。水素添加処理は10~400気圧で行う。水素圧力が10気圧未満では水素の添加の効果が実質的になく、400気圧を超えると水素添加の効果が飽和するからである。被覆ファイバ15に水素が添加されると、光ファイバ10のコア部にドープされている酸化ゲルマニウムが還元され易くなり、GeやSiと結合している酸素が一部取り除かれる現象が発生する。結合酸素が一部取り除かれたGeやSiが結合しあえば、酸素欠損型の欠陥が新たに生じることとなり、光ファイバのコア部において通常わずかしか存在しなくなり、酸素欠損型の欠陥が増大する。

【0023】次いで、高圧状態で水素添加された加圧容器20の圧力を常圧まで降下して被覆ファイバ15を取出す。このように本発明は、光ファイバ10の上には薄

$$\Delta = \Lambda'$$

となる。したがって、コア部12の露光領域には、異なる屈折率を有する領域が干渉縞の間隔Λを周期として光ファイバ10の軸方向に配列されるので、格子13が形成されることになる。

$$\begin{aligned}\lambda_r &= 2n\Lambda \\ &= 2n\Lambda'\end{aligned}$$

となる。また、格子13の長さLと屈折率差△nとを用

$$R = \tan h^2(L\pi\Delta n/\lambda_r)$$

ここで、L:グレーティング長

△n:光誘起による屈折率の変化量

λ<sub>r</sub>:反射波長

となる。したがって、光ファイバ10のコア部12では、格子13が10<sup>-4</sup>~10<sup>-3</sup>程度の大きい屈折率変化で形成されているので、反射波長λ<sub>r</sub>の反射率Rが1.0

\* 層14を設けた状態で水素添加処理をし、またグレーティングを施すので、ガラスファイバ10の表面は空気と直接接触しないので空気中の水分と反応して劣化することがない。さらにガラスファイバの表面に傷を付けることが防止されるので、ガラス本来の強度を保持することができる。

【0024】次に、水素添加処理された被覆ファイバに紫外光を照射する方法について説明する。図3は位相格子法による紫外光の干渉縞を照射するための説明図である。被覆ファイバ15は、石英を主成分とするものであり、コアにのみ屈折率上昇材のゲルマニウムが添加されている。このゲルマニウムは、周知の通り、波長193nm又は248nm付近の紫外光に対する感光材としての役割も有している。すなわち、ゲルマニウムが添加された石英ガラスは、上記のような波長の紫外光が照射されると、その照射部分において上昇するという性質をもっている。このことに鑑み、光ファイバ15への照射紫外光として、波長248nm帯のエキシマレーザ光を用いている。

【0025】水素添加処理された被覆ファイバ15に所定波長の紫外光を照射すると、酸化ゲルマニウムをドープしたコア部12における露光領域の屈折率が変化する。現在、このような紫外光照射による屈折率変化のメカニズムは、完全には解明されていない。しかしながら、この屈折率変化には光ファイバ10のコア部12に通常わずかに存在しているGeに関連した酸素欠損型の欠陥が関与しているものと、一般に推定されている。水素添加工程で添加された光ファイバ10のコア部12では、通常わずかしか存在しない酸素欠損型の欠陥が増大しているので、紫外光の露光領域における屈折率変化が大きくなる。

【0026】格子が所定間隔Λ'で配列された位相格子60の表面の法線方向に対して紫外光を角度θで照射して干渉させている。そのため、コア部12の露光領域における干渉縞の間隔Λは、

$$(1)$$

※【0027】周知なプラッギングの回折条件に基づいてコア部12の屈折率nと格子13の周期Λとを用い、このファイバ型回折格子の反射波長λ<sub>r</sub>は、

※40

$$(2)$$

★ ★い、このファイバ型回折格子の反射率Rは、

$$(3)$$

★ 0%近い値に達する。

【0028】次に、ホログラフィック法によって水素添加処理された被覆ファイバに紫外光を照射する方法を説明する。図4は、ホログラフィック法による紫外光の干渉縞を照射するための説明図であり、干渉機構40を用いて干渉空間50を形成するように、光源30から出射

された紫外光を干渉させ、この干渉空間50に被覆ファイバ15を設置する。干渉機構40は、ビームスプリッタ41およびビームスプリッタ41を挟むように配置された2つのミラー42、43で構成されている。

【0029】図4において、二つのコヒーレントな紫外光  $\Lambda = \lambda / (\sin \theta)$

となる。したがって、コア部12の露光領域には、異なる屈折率を有する領域が干渉縞の間隔 $\Lambda$ を周期として光ファイバ12の軸方向に配列されるので、回折格子13が形成されることになる。

※10

$$\begin{aligned}\lambda_r &= 2 n \Lambda \\ &= \lambda n / \sin \theta\end{aligned}$$

となる。また、格子13の長さ $L$ と屈折率差 $\Delta n$ とを用い、このファイバ型回折格子の反射率Rは、上述した式(3)に示すようになる。したがって、光ファイバ10のコア部12では、格子13が $10^{-4} \sim 10^{-3}$ 程度の大きい屈折率変化で形成されているので、反射波長 $\lambda_r$ の反射率Rが100%近い値に達する。

【0031】こうして作成されたファイバプラググレーティングは、機械的強度を確保するために薄層14の上からナイロンあるいは紫外線硬化型樹脂等の外皮を設けた状態で光学部品が形成される。

【0032】上記のファイバ型回折格子は、以下のようにして反射率が測定される。図5は、ファイバプラググレーティングの反射率測定を行うシステムの構成図である。図5に示すように、このシステムは光源70、被覆ファイバ15及び光スペクトルアナライザ90を光カプラ80で光結合して構成されている。光源70は通常発光ダイオード等であり、被覆ファイバ15における反射波長 $\lambda_r$ を有する光成分を含む光を射出する。光カプラ80は通常の溶融延伸型ファイバカプラであり、光源70からの入射光を被覆ファイバ15に出力するとともに被覆ファイバ15からの反射光を光スペクトルアナライザ90に出力する。光スペクトルアナライザ90は、被覆ファイバ15からの反射光における波長と光強度との関係を検出する。なお、被覆ファイバ15の開放端は、マッチングオイル100中に浸されている。このマッチングオイル100は、通常の屈折率整合液であり、不要な反射光成分を除去している。

【0033】図5のシステムによれば、光源70から射出された光は、光カプラ80を介して被覆ファイバ15に入射する。光ファイバ素線15では、コア部12に形成されている格子13が特定波長の光成分を反射する。被覆ファイバ15から射出された光は、光カプラ80を介して光スペクトルアナライザ90で受光される。光スペクトルアナライザ90では、波長と光強度とからなる光ファイバ素線15の反射スペクトルが検出される。

【0034】(実施例) 図6に示すように、光ファイバ10を線引きすると同時に、シリコン樹脂を塗布・硬化して、直径 $125 \mu m$ の石英ファイバの上に、シリコン

\*光を被覆ファイバ15の光軸方向に対する角度 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ (= $180^\circ - \theta_1$ )で入射して干渉させる。そのため、被覆ファイバ15の径方向に対するコヒーレントな紫外光の入射角度 $\theta$ (= $90^\circ - \theta_1$ )と紫外光の波長 $\lambda$ とを用い、干渉空間50における干渉縞の間隔 $\Lambda$ は、

(4)

※【0030】プラグの回折条件に基づいてコア部12の屈折率nと格子13の周期 $\Lambda$ とを用い、このファイバ型回折格子の反射波長 $\lambda_r$ は、

※10

(5)

★樹脂からなる厚さ $10 \mu m$ の薄層14を施した被覆ファイバ15を作製した。シリコン層14の厚さは線引速度を制御することによって調節した。これを温度 $25^\circ C$ に保持された圧力容器20に入れ、水素ガスを $240$ 気圧に封入して、1週間放置した。その後、水素の圧力を常圧まで下げ、圧力容器20を開放して被覆ファイバ15-1を取出した。取出した被覆ファイバ15は上述した位相格子法によってグレーティングを施した。シリコン層14を設けた状態及びこれを除去してガラスファイバとした状態について引張強度試験を行ったところ、夫々 $6 kg$ と $5 kg$ であった。

【0035】(比較例) 水素添加処理を行なった被覆ファイバ15のシリコン層14除去し、露出したガラスファイバ10にグレーティングを形成した後、引張強度試験を行ったところ、 $1.0 kg$ であった。さらに、この水素添加されたガラスファイバ10についてグレーティングを施し、引張強度試験を行ったところ $0.6 kg$ であった。空気中に曝されたために酸化劣化を起こし、被覆除去ガラスファイバの表面に微小傷が付いたために強度が低下したものと考えられる。ガラスファイバ10の水素添加処理及びグレーティングは実施例1と同一の手順、同一条件で行なった。

【0036】このように被覆ファイバのコアに直接グレーティングが形成された光ファイバは、引張り強度の優れた特性が得られる。一方、グレーティングが形成された光ファイバに張力が加えられると、屈折率縞の間隔が大きくなるので光ファイバを伝搬する光の反射波長は張力に比例して長波長側にシフトする。したがって、本発明の方法によって得られた引張り強度の大きい光ファイバは、張力測定のセンサとして用いることができる。

【0037】(実施形態2) 次に、被覆ファイバに長周期グレーティングを形成する方法について説明する。図7は、本実施形態に係わる長周期グレーティングの作成方法を表す図である。図7(a)は、強度変調マスク61を介して被覆ファイバ15に紫外光31を照射することで光ファイバ15のコアに長周期グレーティングを形成するものである。

【0038】被覆ファイバ15は、石英を主成分とする

ものであり、コアにのみ屈折率上昇材のゲルマニウムが添加されている。このゲルマニウムは、周知の通り、波長193 nm又は248 nm付近の紫外光に対する感光材としての役割も有している。すなわち、ゲルマニウムが添加された石英ガラスは、上記のような波長の紫外光が照射されると、その照射部分において上昇するという性質をもっている。このことに鑑み、被覆ファイバ15への照射紫外光として、波長248 nm帯のエキシマレーザ光を用いている。

【0039】強度変調マスク61は、透明な石英ガラス平板61aの表面に複数の帯状クロム層61bを等間隔に蒸着している。このクロム層61bは、紫外光31を遮断する作用を有している。従って、石英ガラス平板61aのクロム蒸着面には、光遮断部（クロム層）と光透過部（各クロム層の間に位置するガラス表面）とが交互に格子状に配列されることになる。本実施形態では、この強度変調マスク61のクロム蒸着面の反対側の面に紫外光ビーム31が照射され、クロム層間のガラス表面を透過した紫外光のみが光ファイバ15に照射される。このため、被覆ファイバ15には、紫外光が等間隔の格子状に照射されることになる。この照射光は、感光材であるゲルマニウムが添加されているコアに入射して、コアの屈折率変化を誘起する。これにより、被覆ファイバ15のコアには、屈折率が局所的に上昇した複数の部位がコアの軸線に沿って格子状に等間隔に配列されることになる。

【0040】図7(b)は、このようにして長周期グレーティングを形成した後におけるコア及びクラッドのファイバ軸方向に沿った屈折率分布を示す図である。図7(b)に示すように、上記の紫外光照射によって、コアに複数の局所的な屈折率上昇部が形成されており、長周期グレーティングを構成している。なお、図面の簡略化のため、図7(b)には、紫外光照射による屈折率上昇部が3個だけ示されているが、実際の長周期グレーティングは、通常、このような屈折率上昇部を数百個程度まで複数含んで構成されている。

【0041】被覆ファイバに紫外光を照射して長周期グレーティングを形成する場合は、実施形態1と同様にシリコン樹脂あるいはエポキシ樹脂の薄層が好ましく、さらに5~10 μmの厚さが望ましい。

【0042】(実施形態3) 実施形態1及び2においては、紫外光を照射してファイバグレーティングを作成する方法について説明した。すなわち、被覆ファイバの上から紫外光を照射すると、光ファイバの外周に被覆された薄層によって紫外光が減衰する傾向があるので、比較的減衰の少ないシリコン樹脂を用いるとともに、その厚さを5~10 μmに限定することによって良好な結果を得ることができた。

【0043】これに対して、実施形態3では光ファイバの被覆材料およびその厚さに影響され難いファイバグレ

ーティングを作成する方法について説明する。すなわち、最近の研究成果によると、ゲルマニウムが添加された光ファイバのコアは、波長が240 nm付近の紫外光で吸収が生じるが、240 nmの2倍の波長の光でも屈折率変化が生じることが解ってきた。この480 nm付近の可視光による屈折率変化のメカニズムは二光子吸収によるものと考えられている。

【0044】このような可視光によってファイバグレーティングを作成する場合は、比較的透明なシリコン樹

脂、あるいは紫外線硬化型樹脂等の有機材料を光ファイバの被覆材として使用しても、この被覆材による可視光の減衰は小さいので、効率よくファイバグレーティングを形成することができる。また、実施形態1で説明した照射方法、即ち、ホログラフィック法、位相格子法および実施形態2に示した強度変調マスク法のいずれの方法をも適用することができる。

【0045】このような波長帯域の可視光を用いると、被覆ファイバに用いられる被覆材料はシリコン樹脂あるいはエポキシ樹脂に制限されることなく（一般に透明な樹脂であれば使用可能である）、その被覆厚さも数十μmまで使用できるという利点がある。

【0046】(実施形態4) ファイバグレーティングを作成するための照射光としてX線を用いることができる。X線は被覆ファイバの外周を覆っている被覆材料によって殆ど影響されないので、最も効果的にファイバグレーティングを作成することができる。実施形態4では、このようなX線によって被覆ファイバにグレーティングを作成する方法を示すものである。

【0047】図8は、被覆ファイバ15にX線を照射してファイバグレーティングを形成する装置の断面図である。図8において、シンクロトロン放射光装置（図示せず）からの波長0.12 nm~0.7 nmのX線が発射され、X線の強度変調マスク62を介して被覆ファイバ15に照射される。

【0048】シンクロトロン放射光(SR光)はシンクロトロン放射装置からSR光導入管25を通してSR光照射室24内に導かれる。照射室24は大気圧のヘリウムを含んでいるのに対して、導入管25のシンクロトロン放射光装置側は超高真空に維持されているので、導入管25の途中に隔膜26が設けられている。

【0049】X線強度変調マスク62は、X線を透過する支持膜62aとその上に所定の間隔で格子状にX線のシールド層62bが設けられている。支持膜62aは、X線に対して機械的強度とX線透過能を有する窒化ケイ素膜、炭化ケイ素膜、ダイヤモンド膜が用いられる。X線シールド層62bは、X線に対して遮蔽能力を有するタンゲステン層、タンタル層が用いられる。

【0050】被覆ファイバ15のコアにはゲルマニウムを含んでいるので、X線の照射を受けた領域は屈折率が増大してコアの軸方向にX線強度変調マスク62のパタ

ーンによる屈折率変化が得られる。この時、光ファイバの被覆材としてシリコン樹脂や紫外線硬化型樹脂等の有機材料あるいはカーボン等の無機材料が使用されても、これらの被覆材によってコアを照射するためのX線は殆ど減衰をうけないので効率よくグレーティングを形成することができるという利点がある。

【0051】以上説明したように本発明は、表1に示すように、ガラスファイバの外周にシリコン樹脂あるいは紫外線硬化樹脂からなる有機材料及びカーボンの薄層が施された光ファイバの上から波長の可視光、紫外光ある \*10

\*10はX線を照射してグレーティングを形成するので高強度の光ファイバが得られる。ここで、波長450～550nmの可視光はカーボンを透過しにくい性質があるので、薄層としてカーボンを用いるときはできるだけ薄くすることが好ましい。また、波長190～330nmの紫外光も紫外線硬化樹脂を透過しにくい性質があるので、紫外線硬化樹脂を薄層として用いるときもできるだけ薄くすることが好ましい。

#### 【0052】

【表1】

波長 (nm)	有機材料		カーボン コート
	シリコン樹脂	紫外線硬化樹脂	
450～550	○	○	△
190～330	○	△	○
0.12～0.7	○	○	○

○印は本発明の被覆材料として好適、△印は使用可能を意味する。

#### 【0053】

【発明の効果】本発明は、以上説明したように、外周を保護するための被覆層を設けた光ファイバについて水素の添加処理ならびにグレーティングを形成するので、ガラスファイバの表面が直接空気と接触することがなく、また、ガラスファイバの表面に傷の発生するのを防止できるので、光ファイバが本来有する強度を保持することができる。

【0054】このようにして形成された光ファイバは、引張り強度が大きく、また、張力が付加されるとグレーティングによる反射波長がシフトするので、張力測定用センサに適する。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】ファイバグレーティングの作成方法における水素添加工程を説明する図である。

【図2】ファイバグレーティングの作成方法に用いられる被覆ファイバの構成を示す図である。

【図3】ファイバグレーティングの作成方法における回折格子書き込み工程（位相格子法）を説明する図である。

【図4】ファイバグレーティングの作成方法における回折格子書き込み工程（ホログラフィック法）を説明する図である。

※【図5】ファイバプラッギングレーティングの反射率を測定するシステムを示す構成図である。

【図6】線引工程において、光ファイバの上に有機材料の薄層を形成する方法を説明する図である。

【図7】ファイバグレーティングの作成方法における回折格子書き込み工程（強度変調マスク法）を説明する図である。

【図8】ファイバグレーティングの作成方法における回折格子書き込み工程（X線による強度変調マスク法）を説明する図である。

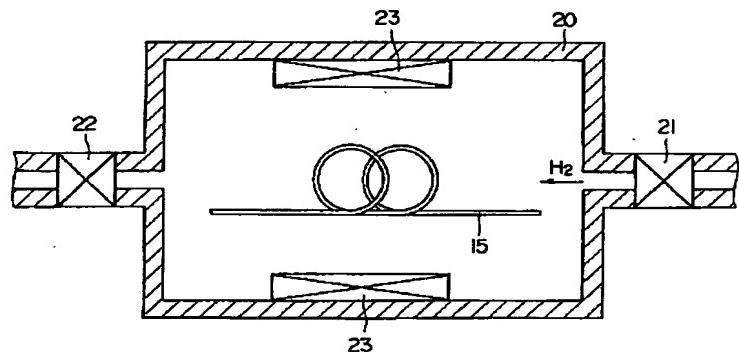
#### 【符号の説明】

1…母材、2…加熱装置、3…有機材料の塗布装置、4…加熱炉、10…光ファイバ（ガラスファイバ）、11…クラッド部、12…コア部、13…回折格子、14…薄層、15…被覆ファイバ、20…

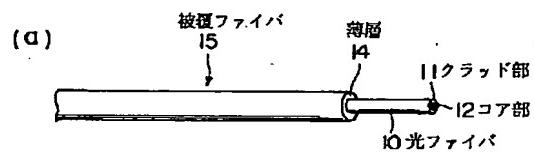
40…圧力容器、21、22…バルブ、23…温度調節器、24…SR光照射室、25…SR光導入管、26…ベリリュウム隔膜、40…干渉機構、41…ビームスピリッタ、42、43…ミラー、50…干渉空間、60…位相格子、61、62…強度変調マスク、30、70…光源、80…光カプラ、90…光スペクトルアナライザ、100…マッチングオイル。

※

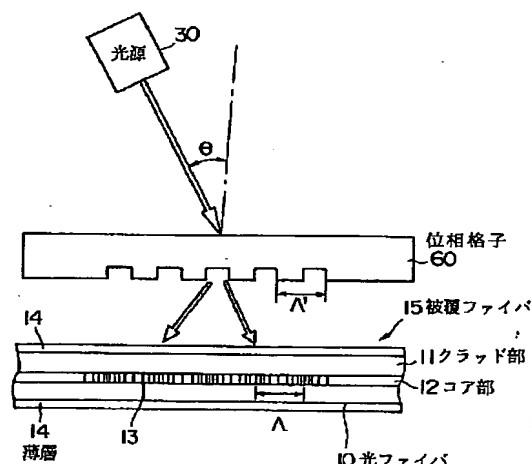
【図1】



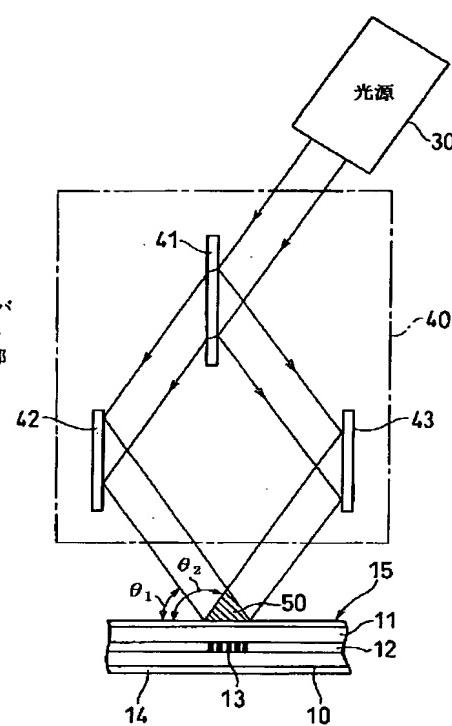
【図2】



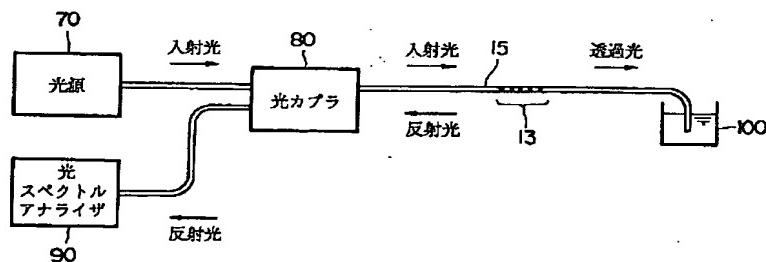
【図3】



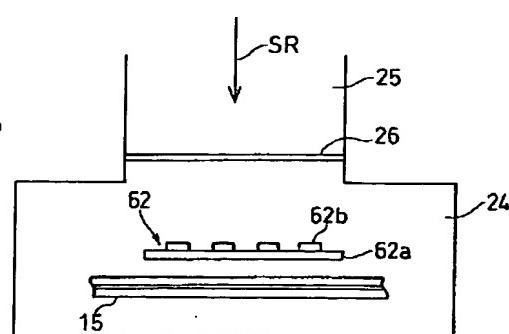
【図4】



【図5】



【図8】



【図7】

